



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **09260252 A**

(43) Date of publication of application: 03 . 10 . 97

(51) Int. Cl.

H01L 21/027  
G03F 7/207

(21) Application number: 08067883

(71) Applicant: **NIKON CORP**

(22) Date of filing: 25 . 03 . 96

(72) Inventor: **OKUMURA MASAHIKO**

(54) IMAGERY CHARACTERISTICS EVALUATION  
METHOD OF PROJECTION OPTICAL SYSTEM,  
AND PROJECTION ALIGNER USING THE  
METHOD

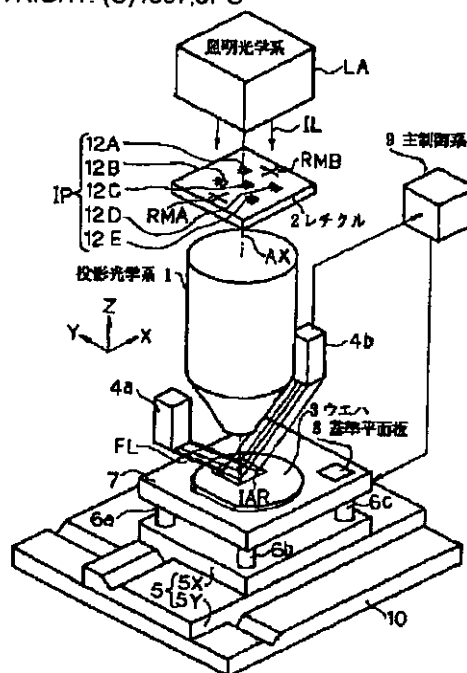
calculated from the exposed image formed on the wafer 3.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO

(57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To rapidly and accurately detect imagery characteristics of a projection optical system used for a projection aligner, without being affected by the flatness of a running guide surface of a wafer stage.

**SOLUTION:** Calibration of a reference surface of a plurality of measurement points with multipoint focus position detecting systems 4a, 4b of an oblique incidence system is performed by using a reference plane board 8 arranged on a Z tilt stage 7. A specified surface region of a wafer 3 is transferred in the exposure field of a projection optical system. Positions in the Z direction of a plurality of measurement points on the wafer 3 are simultaneously measured with the focus position detecting systems 4a, 4b, and images of a pattern IP for measurement of a reticle 2 are exposed on a plurality of the measurement points. After similar operations are repeated while the position in the Z direction of the wafer 3 is shifted little by little, the wafer 3 is developed, and imagery forming characteristics of a projection optical system 1 are



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-260252

(43) 公開日 平成9年(1997)10月3日

(51) Int.Cl.<sup>4</sup>

H 0 1 L 21/027  
G 0 3 F 7/207

識別記号

片内整理番号

F I

H 0 1 L 21/30  
G 0 3 F 7/207  
H 0 1 L 21/30

5 2 6 B  
H  
5 0 2 G  
5 1 6 Z  
5 2 6 A

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号

特願平8-67883

(22) 出願日

平成8年(1996)3月25日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 奥村 正彦

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

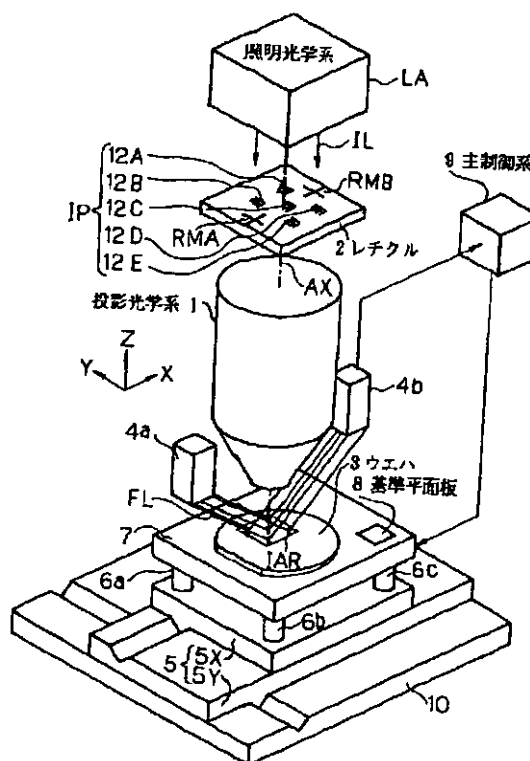
(74) 代理人 弁理士 大森 聡

(54) 【発明の名称】 投影光学系の結像特性評価方法及び該方法を使用する投影露光装置

(57) 【要約】

【課題】 投影露光装置に使用される投影光学系の結像特性をウエハステージの走り案内面の平面度の影響を受けることなく迅速且つ正確に検出する。

【解決手段】 Zチルトステージ7上に設置された基準平面板8を用いて、斜入射方式の多点の焦点位置検出系4a、4bによる複数の計測点の基準面のキャリブレーションを行う。ウエハ3の所定の表面領域を投影光学系の露光フィールド内に移動し、焦点位置検出系4a、4bによってウエハ3上の複数の計測点のZ方向の位置を同時に計測すると共に、それら複数の計測点にレチクル2の計測用パターンIPの像を露光する。ウエハ3のZ方向の位置を少しずつずらしながら同様の動作を繰り返した後、ウエハ3を現像して、ウエハ3上に形成された露光像から投影光学系1の結像特性を算出する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 所定のパターンの像を感光基板上に投影露光するための投影光学系の結像特性評価方法において、

前記感光基板上の複数の計測点で前記投影光学系の光軸方向の位置を検出するとともに、前記感光基板上の複数の計測点のそれぞれを評価用のパターンの像で露光する段階と、

前記複数の計測点に対応して前記感光基板上に形成された評価用のパターンの像から得られる情報と、前記複数の計測点それぞれの前記光軸方向の位置とに基づいて、前記投影光学系の結像特性を評価する段階と、を含むことを特徴とする投影光学系の結像特性評価方法。

【請求項2】 露光用の照明光のもとで、マスク上の転写用パターンの像を投影光学系を介して感光基板上に投影する投影露光装置において、

前記感光基板を前記投影光学系の光軸方向に移動する高さ調整ステージと、

前記感光基板上の複数の計測点で前記投影光学系の光軸方向の位置を検出する焦点位置検出手段と、

該焦点位置検出手段で検出された前記感光基板の表面の凹凸情報を記憶する記憶手段と、を有し、

前記高さ調整ステージを介して所定の感光基板を前記投影光学系の光軸方向の複数の位置に設定したときに、それぞれ前記焦点位置検出手段で検出される前記所定の感光基板の表面の凹凸情報を前記記憶手段に記憶することを特徴とする投影露光装置。

【請求項3】 請求項2記載の投影露光装置であって、前記高さ調整ステージ上に、表面の平面度が既知の基準部材を設けたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項4】 請求項2、又は3記載の投影露光装置であって、

前記高さ調整ステージは、更に前記感光基板の傾斜角を調整することを特徴とする投影露光装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば半導体素子、液晶表示素子、撮像素子（CCD等）、又は薄膜磁気ヘッド等を製造するためのフォトリソグラフィ工程でマスク上のパターンを感光基板上に投影する投影光学系の結像特性評価方法及びこの結像特性評価方法を使用する投影露光装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】例えば、半導体素子等を製造するためのフォトリソグラフィ工程では、マスクとしてのレチクル上に形成されたパターンを投影光学系を介して感光基板としてのウエハ（又はガラスプレート等）上に高精度に転写するステッパー等の投影露光装置が使用されている。これらの投影露光装置においては、ウエハ上にレチ

クルのパターンの像を高解像度で転写するための投影光学系には優れた結像特性が要求される。そのため、例えば定期的に投影光学系の像面傾斜及び像面湾曲等の結像特性が測定され、この測定結果に基づいてその結像特性の補正が行われていた。

【0003】ところで、投影露光装置には、通常ウエハの高さ方向（Z方向）の位置及び傾斜角を調整できるZチルトステージ、及びウエハを2次元平面（XY平面）上の所望位置に位置決めするXYステージから構成されるウエハステージが装備されている。そして、従来はウエハを載置するウエハステージ、特にXYステージの案内面（走り案内面）がほぼ完全な平面であるという前提に基づいて、次のような方法により投影光学系の結像特性の測定が行われていた。

【0004】図11は、従来の結像特性の測定方法を説明するための図を示し、図12は図11の一部の平面図を示している。これらの図11及び図12は、投影光学系1の露光フィールドIARの端部の位置Aでの像面を計測している状態を示している。この図11において、投影光学系1の左右の側面にウエハ3Bの焦点位置を検出するための送光光学系50a及び受光光学系50bからなる斜入射方式の焦点位置検出系（以下、「焦点位置検出系50a、50b」という）が設置されており、送光光学系50aからウエハ3B上で投影光学系1の光軸AXとほぼ交差する検出点Cに向けて、光軸AXに対して斜めに検出光FLが照射される。検出点Cには例えばスリット像が投影される。以下、投影光学系1の光軸AXに平行にZ軸を取り、そのZ軸に垂直な平面上にX軸及びY軸を取り説明する。

【0005】ウエハ3B上に照射された検出光FLはウエハ3B上で反射され、その反射光は受光光学系50bに入射する。受光光学系50bからは検出点Cに対応するウエハ3B上の計測点P<sub>1</sub>の高さ位置に対応する検出信号が出力される。図11に示すように、ウエハ3Bの表面Sにはうねりがある。このうねりが像面計測に影響するのを回避するため、次のようなシーケンスで露光が行われる。

【0006】① 先ずXYステージ5を駆動し、フォトレジストが塗布された2点鎖線で示すウエハ3Bの表面Sの計測点P<sub>1</sub>を焦点位置検出系50a、50bの検出点Cに移動して、Zチルトステージ7を駆動し、計測点P<sub>1</sub>のZ方向の位置を所望の位置に設定する。

② 次に、Zチルトステージ7をロックした状態で、計測点P<sub>1</sub>が露光フィールドIARの端部の像面計測対象の位置Aに位置決めされるようにXYステージ5を駆動する。図11において実線で示す曲線がウエハ3Bの移動後の状態を示している。図12に示すように、この動作により露光フィールドIARに対応するウエハ3B上の2点鎖線で示す領域AR1が露光フィールドIARに移動した形となる。そして、ウエハ3Bをその状態にし

たまま、不図示の照明光学系からレチクル上の結像評価用のパターンに露光用の照明光を照射し、ウェハ3B上の計測点 $P_1$ 上にそのパターンの像IPAの露光を行う。この例におけるパターンの像IPAはX方向に伸びた複数のスリット状のマークと、Y方向に伸びた複数のスリット状のマークとから構成されたパターンの像である。

【0007】③ 次に、Zチルトステージ7を駆動し、ウェハ3Bの高さを変化させて複数の高さで上記①②の動作を繰り返す。この場合、既に露光したパターンと新たに露光するパターンとが、ウェハ3B上で重ならないように、ウェハ3B上の露光位置をXY平面内で少しずつずらしながら露光する。

④ 次に、露光フィールドIAR内の位置A以外の複数の位置において、上記①～③の動作を行う。

【0008】⑤ 次に、以上の動作により露光されたウェハ3Bを現像し、露光フィールドIAR内の各位置に対して、露光されたパターンが最もよく解像しているZ方向の位置を検出する。以上①②③④⑤の動作により、露光フィールドIAR内の各位置の結像面がXYステージ5の走り案内面を基準として、どれだけ湾曲、傾斜しているかが求められる。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】以上のような従来の技術では、上記①の動作で計測点 $P_1$ の高さを設定（計測）してから②の動作で露光を行うまでにXYステージ5が移動するため、XYステージ5の走り案内面の平面度が十分に高くなければ結像特性の測定誤差が生ずるといふ不都合がある。XYステージ5の走り案内面の平面度には限界があり、完全な平面度を得ることは不可能である。また、使用される投影露光装置には使用期間の経過に伴って、XYステージの走り案内面の平面度が低下したものもある。特に、最近では半導体素子等の回路の微細化に対応して、投影光学系の開口数が大きくなり、それに伴って要求される焦点深度が浅くなっている。従って、投影光学系の像面湾曲や像面傾斜等の結像特性に対する要求も厳しくなっているため、従来の方法では避けることが難しいXYステージの走り案内面の平面度の不足に伴う結像特性の誤差が無視できない状況となっている。

【0010】また、露光フィールドIAR内の複数の計測位置毎に上記①②③の動作を繰り返して行う必要があり、計測位置の数に比例して測定時間が長くなり、スループット（生産性）が低下するという不都合もある。本発明は斯かる点に鑑み、ウェハを位置決めするステージの走り案内面の平面度の影響を受けることなく、投影光学系の像面湾曲や像面傾斜等の結像特性を迅速且つ高精度に評価できる投影光学系の結像特性評価方法を提供することを目的とする。更に、本発明はそのような投影光学系の結像特性評価方法を使用する投影露光装置を提供

することをも目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明による投影光学系の結像特性評価方法は、所定のパターンの像を感光基板（3）上に投影露光するための投影光学系（1）の結像特性評価方法において、その感光基板（3）上の複数の計測点（13A～13E）でその投影光学系（1）の光軸（AX）方向の位置を検出するとともに、その感光基板（3）上の複数の計測点（13A～13E）のそれぞれを評価用のパターン（IP）の像で露光する段階と、その複数の計測点（13A～13E）に対応してその感光基板（3）上に形成された評価用のパターンの像（IP1～IP3）から得られる情報と、その複数の計測点（13A～13E）それぞれのその光軸（AX）方向の位置とに基づいて、その投影光学系（1）の結像特性を評価する段階と、を含むものである。

【0012】斯かる本発明の投影光学系の結像特性評価方法によれば、感光基板（3）上の複数の計測点（13A～13E）の光軸（AX）方向の位置の計測と、それらの複数の計測点（13A～13E）上への評価用のパターン（IP）の像の露光とを同時に行う。従って、計測点（13A～13E）の光軸方向の位置の計測とその露光との間に、感光基板（3）を移動する必要がないので、例えば感光基板（3）の移動に伴って発生する光軸方向の計測誤差の原因となるステージ装置の走り案内面の平面度の影響を受けることがなく、投影光学系（1）の結像特性が高精度に評価できる。また、感光基板（3）上の複数の計測点を一度に検出するので、計測時間が短縮される。

【0013】また、本発明による投影露光装置は、露光用の照明光（IL）のもとで、マスク（2）上の転写用パターンの像を投影光学系（1）を介して感光基板

（3）上に投影する投影露光装置において、その感光基板（3）をその投影光学系（1）の光軸（AX）方向に移動する高さ調整ステージ（7）と、その感光基板

（3）上の複数の計測点（13A～13E）でその投影光学系（1）の光軸（AX）方向の位置を検出する焦点位置検出手段（4a, 4b）と、この焦点位置検出手段で検出されたその感光基板（3）の表面の凹凸情報を記憶する記憶手段（9）と、を有し、その高さ調整ステージ（7）を介して所定の感光基板（3）をその投影光学系の光軸（AX）方向の複数の位置に設定したときに、それぞれその焦点位置検出手段（4a, 4b）で検出されるその所定の感光基板（3）の表面の凹凸情報をその記憶手段（9）に記憶するものである。

【0014】斯かる本発明の投影露光装置によれば、感光基板（3）を投影光学系（1）の光軸（AX）方向の複数の位置に設定し、それらの複数の位置において、感光基板（3）上の複数の計測点（13A～13E）の光軸（AX）方向の位置を同時に計測し、その計測結果に

基づいて感光基板(3)の表面の凹凸情報を得るため、その光軸方向の位置における感光基板(3)の正確な凹凸情報に基づいて、投影光学系(1)の結像特性を高精度に調整することができる。

【0015】この場合、その高さ調整ステージ(7)上に、表面の平面度が既知の基準部材(8)を設けることが好ましい。これにより、その基準部材(8)を用いて、焦点位置検出手段(4a, 4b)を正確にキャリブレーション(校正)することができ、その正確に校正された焦点位置検出系(4a, 4b)を使用して、感光基板(3)上の複数の計測点の光軸(AX)方向の位置を正確に計測できる。

【0016】また、その高さ調整ステージ(7)は、更にその感光基板(3)の傾斜角を調整することが好ましい。これにより感光基板(3)の表面を計測された像面に合わせ込むことができる。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、本発明による実施の形態の一例につき図1～図10を参照して説明する。本例は、レチクルのパターンを投影光学系を介してウエハ上の各ショット領域に一括露光するステッパ型の投影露光装置において投影光学系の結像特性を評価する場合に本発明を適用したものである。

【0018】図2は、本例で使用される投影露光装置の全体の概略構成の斜視図を示し、この図2において、光源、レチクル上の照度分布を均一化するフライアイレンズ、レチクル上での照明範囲を制限する可変の視野絞り、及びコンデンサレンズ等を含む照明光学系LAから射出された露光用の照明光ILはレチクル2上に均一な照度分布で照射される。照明光ILとしては、例えば超高圧水銀ランプの輝線であるi線やg線、KrFエキシマレーザ光やArFエキシマレーザ光等のエキシマレーザ光、あるいは、銅蒸気レーザやYAGレーザの高調波等が用いられる。レチクル2を通過した照明光ILにより、フォトレジストが塗布されたウエハ3上の各ショット領域に投影光学系1を介して、回路パターンの像が転写露光される。以下、投影光学系1の光軸AXに平行な方向にZ軸を取り、Z軸に垂直な平面上の直交座標系をX軸及びY軸として説明する。

【0019】このとき、レチクル2は、光軸AXに垂直な2次元平面上を微動できる不図示のレチクルステージ上に載置されている。本例のレチクル2上のパターン領域の両側に、レチクル2の位置合わせ用の十字状のレチクルアライメントマークRMA, RMBが形成されている。また、レチクル2上のパターン領域内の4隅及び光軸AXの近傍に投影光学系1の結像特性を計測するための5個の評価用パターン12A～12Eが形成されている。以下、これらの評価用パターン12A～12Eをまとめて計測用パターンIPとして説明する。なお、図2においては、これらの評価用パターン12A～12E

は、それぞれX方向又はY方向に長いスリット状のパターンが複数個配列された状態で示されているが、実際には図8に示すように、複数の菱形の基本マークから構成されている。詳しくは後述する。

【0020】一方、ウエハ3は、Zチルトステージ7上の不図示のウエハホルダに真空吸着され、Zチルトステージ7は、Zチルトステージ7の3隅の裏面側に固定された伸縮自在のフォーカス・レベリング機構6a～6cを介して、Yステージ5Y上をX方向に移動自在なXステージ5X上に載置されている。フォーカス・レベリング機構6a～6cは、装置全体を統轄制御する主制御系9により制御されており、通常の露光時には主制御系9の指令に基づいてパターンの像面がウエハ3の表面に一致するように、Zチルトステージ7の高さ及び傾斜角を調節する。また、Yステージ5Yは、ウエハベース10上をY方向に移動自在に構成されている。このYステージ5Y及びXステージ5XによりXYステージ5が構成され、XYステージ5及びZチルトステージ7等よりウエハステージが構成されている。XYステージ5は主制御系9により制御されており、主制御系9は不図示の干渉計からのXYステージ5の位置情報に基づいてXYステージ5を制御してウエハ3を2次元的に位置決めし、所謂ステップ・アンド・リピート方式で露光を行う。なお、投影光学系1の結像特性の評価時には、未露光のウエハ3上にレチクル2上の計測用パターンIPの像が露光転写される。

【0021】更に、本例の投影露光装置の投影光学系1の側面部には、露光フィールドIAR内の複数の位置にスリット像を投影する送光光学系4a、及び送光光学系4aから射出された検出光FLのウエハ3からの反射光を受光してそれらのスリット像を再結像する受光光学系4bからなる斜入射方式の多点の焦点位置検出系(以下、「焦点位置検出系4a, 4b」という)が設置されている。送光光学系4aは、ウエハステージの上方で投影光学系1のY軸にたいして反時計周りに45°回転した下部側面側に配置され、送光光学系4aと光軸AXに関して対称に受光光学系4bが設置されている。この焦点位置検出系4a, 4bにより、ウエハ3の表面の複数の点でのZ方向の位置(焦点位置)が精密に測定される。この場合、送光光学系4aからは、ウエハ3上のフォトレジストを感光させない波長の検出光FLがウエハ3上に照射され、その検出光FLのウエハ3上からの反射光を受光光学系4bにより受光している。ウエハ3の所定の基準平面に対するZ方向の変位はその反射光により再結像されたスリット像の位置ずれとして検出され、その位置ずれ量に対応する複数のフォーカス信号が主制御系9に供給される。主制御系9は、それらのフォーカス信号に基づいてウエハ3の表面が投影光学系1の結像面に合致するようにフォーカス・レベリング機構6a～6cを駆動する。

【0022】なお、焦点位置検出系4a、4bの検出光FLは、露光フィールドIAR内の複数の計測点の焦点位置を計測できるように、それらの複数の計測点に対応する複数のスリット像を投影する。図面上では検出光FLとして、各スリット像を形成する光束の主光線を示している。そして、その露光フィールドIAR内の複数の計測点における焦点位置からウェハ3の傾斜成分が検出される。通常、後述のように、投影光学系1の結像面が零点基準となるように複数のフォーカス信号のオフセット調整が行われ、受光光学系4bからの各フォーカス信号が0になるようにオートフォーカス及びオートレベリングが行われる。

【0023】また、Zチルトステージ7の+X、-Y方向の角部には、その多点の焦点位置検出系4a、4bをキャリブレーション（較正）するための基準平板8が設置されている。基準平板8は高い平面度及び反射率を有し、その表面がウェハ3の表面と同じ高さになるように設置されている。基準平板8の中心を露光フィールドIARの中心に合致させて、且つフォーカス・レベリング機構6a～6cの伸縮量を所定の基準値に設定した状態でのこの基準平板8の平面の状態は、所定の測定装置により測定され、その測定値は主制御系9に記憶されている。焦点位置検出系4a、4bのキャリブレーション時には、基準平板8を投影光学系1の露光フィールドIAR（図3参照）に配置する。以下では説明の便宜上、基準平板8の平面はほぼ完全な平面とみなせるものとして説明する。なお、基準平板8の材料としては、表面の変形が少なく、耐熱性に優れ、反射率がある程度以上である材料（金属、ガラス基板等）であれば何れのものでもよい。

【0024】次に、本例における投影光学系1の像面湾曲及び像面傾斜の評価方法について、図1のフローチャートを参照して説明する。評価手順としては、先ず多点の焦点位置検出系4a、4bをキャリブレーション（較正）し、続いて較正された焦点位置検出系4a、4bを用いて投影光学系1の像面湾曲及び像面傾斜を測定する。

【0025】図1は、本例における投影光学系1の像面湾曲及び像面傾斜の評価方法を説明するためのフローチャートを示し、この図1に示すように、先ずステップ101において、図2のXYステージ5を駆動して、基準平板8の中心を投影光学系1の露光フィールドIARの中心（光軸AX）に位置決めし、フォーカス・レベリング機構6a～6cの伸縮量を所定の基準値に設定して、焦点位置検出系4a、4bの較正を行う。

【0026】図3は、焦点位置検出系4a、4bの較正方法を説明するための図を示し、図1の投影光学系1をX軸から時計周りに135°回転した位置から眺めた図である。この図3に示すように、ステップ102において、基準平板8の露光フィールドIAR内の複数の計

測点に検出光FLによるスリット像が照射されている。図3では基準平板8の表面の計測点 $f_A$ 、 $f_C$ 、 $f_E$ 付近にそれぞれスリット像が照射されている。

【0027】焦点位置検出系4a、4bが較正されていない状態においては、それぞれの計測点のスリット像の基準面（フォーカス信号が0になる面）が異なっている。例えば図3において計測点 $f_A$ の基準面は平面 $H_A$ 上にあり、計測点 $f_A$ に対応するフォーカス信号は基準平板8の表面と平面 $H_A$ との高さ（Z方向の位置）の差（以下、「Z方向変位」という） $Z_A$ に対応する出力となる。同様に、計測点 $f_C$ 、 $f_E$ についても、それぞれの基準面 $H_C$ 、 $H_E$ と基準平板8の表面とのZ方向変位 $Z_C$ 、 $Z_E$ に対応するフォーカス信号が出力される。ここでは、そのフォーカス信号の出力値をそれらのZ方向変位 $Z_A$ 、 $Z_C$ 、 $Z_E$ でそのまま表示するものとする。このように、焦点位置検出系4a、4bが較正前の状態においては、各計測点でのフォーカス信号の出力値 $Z_A$ 、 $Z_C$ 、 $Z_E$ はそれぞれ任意の値となっている。この出力値 $Z_A$ 、 $Z_C$ 、 $Z_E$ は主制御系9に供給される。同様に他の計測点でのZ方向変位（フォーカス信号）も主制御系9に供給される。

【0028】次に、ステップ103において、焦点位置検出系4a、4bからの各計測点に対応するフォーカス信号の出力値が揃うように、ハードウェア的又はソフトウェア的に調整する。即ち、焦点位置検出系4a、4bの各計測点に対応するフォーカス信号の出力値（例えば、 $Z_A$ 、 $Z_C$ 、 $Z_E$ ）の間に、 $Z_A = Z_C = Z_E = 0$ の関係が成立するように調整することで、焦点位置検出系4a、4bが較正（原点較正）される。

【0029】図4は、較正後の焦点位置検出系4a、4bの各フォーカス信号の出力値の状態を示し、この図4において、焦点位置検出系4a、4bの計測点 $f_A$ 、 $f_C$ 、 $f_E$ 及び他の計測点での基準面と、基準平板8の表面とは高さが一致しており、この場合の受光光学系4bにおける各計測点に対応するフォーカス信号の出力値は同じになる。この場合、基準平板8を破線で示したようにZ方向に適当な間隔で上下にずらした際の各計測点に対応するフォーカス信号の出力変化から各計測点でのフォーカス信号のZ方向変位に対する感度の計測及び調整を行うこともできる。以上で、焦点位置検出系4a、4bの較正が完了する。次に、較正後の焦点位置検出系4a、4bを用いて投影光学系1の結像面の位置を測定する。

【0030】図5は、焦点位置検出系4a、4bによる投影光学系1の結像面の測定方法を説明するための図を示し、図6は図5の一部の平面図を示す。この図6に示すように焦点位置検出系4a、4bによって露光フィールドIAR内の4隅及び中心部の5つの計測点A～Eでの焦点位置が検出される。図5においては、5つの計測点の内の3つの計測点A、C、Eが示されている。この

計測方法では、ウエハ 3 の各計測点での Z 方向の位置（高さ）を焦点位置検出系 4 a、4 b により計測しながら、図 2 のフォーカス・レベリング機構 6 a ~ 6 c を介してウエハ 3 の表面を焦点位置検出系 4 a、4 b のフォーカス信号が 0 の基準面の近傍で少しずつずらすと共に横ずれさせて、Z 方向の複数の位置に設定し、ウエハ 3 のそれぞれの高さ位置において、レチクル 2 上の計測用パターン I P の像を投影光学系 1 の露光フィールド I A R 内の各計測点付近に露光転写して、計測用パターン I P の像の状態を測定する。図 5 では、Z 方向の 3 箇所の位置（平均位置）R 1 ~ R 3 にウエハ 3 が配置された状態を示している。また、図 5 及び図 6 において、それぞれの位置 R 1 ~ R 3 におけるウエハ 3 の表面 S の露光フィールド I A R 内の領域を表面領域（ショット領域）S 1、S 2、S 3 として示す。表面領域 S 1 ~ S 3 は、ウエハ 3 上で露光フィールド I A R と同じ大きさの領域を少しずつ横ずれさせた領域である。図 5 及び図 6 においては、表面領域 S 2 が露光フィールド I A R に重なった状態を示している。

【0031】先ずステップ 104 において、ウエハ 3 の例えば表面領域 S 1 の中心が投影光学系 1 の露光フィールド I A R の中心にくるように X Y ステージ 5 を駆動する。次に、図 5 に示すように、ウエハ 3 の表面を投影光学系 1 の結像面付近の位置 R 1 に設定し、図 6 の計測点 A ~ E に対応するウエハ 3 上の計測点 13 A ~ 13 E

（図 7 参照）の基準面（焦点位置検出系 4 a、4 b のフォーカス信号が 0 になる面）K S からの Z 方向の変位量をそれぞれ計測する。例えば、図 5 に示すように、計測点 13 A においては、Z 方向の変位量は  $Z_{A1}$  である。他の計測点 13 B ~ 13 E についても同様に基準面 K S からの Z 方向の変位量を計測する。これらの変位量のデータは主制御系 9 に供給され、主制御系 9 で記憶される。この状態で、図 2 のレチクル 2 上の計測用パターン I P に照明光 I L を照射し、ウエハ 3 上の表面領域 S 1 の計測点 13 A ~ 13 E に計測用パターン I P の像を露光転写する。計測用パターン I P は、前述のように複数の評価用パターンから構成され、露光フィールド I A R 内の計測点 A ~ E 上に各評価用パターンの像が投影されるように、レチクル 2 の位置が設定されている。

【0032】次に、ウエハ 3 を Z 方向に少しずつずらし、予め設定されたウエハ 3 の Z 方向の位置 R 2、R 3 においても上記と同様に各計測点 A ~ E でのウエハ 3 の Z 方向の変位量を計測し、計測用パターン I P の露光を行う。この場合、図 6 に示すように、ウエハ 3 の表面領域 S 1、S 2、S 3 が重ならないように、X Y ステージ 5 を駆動してウエハ 3 の位置を X、Y 方向に適量ずらし、ウエハ 3 上に露光された計測用パターン I P の像が重ならないようにする。

【0033】以上の動作により、例えば図 5 に示すように、位置 R 2、R 3 における計測点 A に対応するウエハ

3 上の計測点 14 A、15 A における Z 方向の変位量  $Z_{A2}$ 、 $Z_{A3}$  が計測され、他の計測点についても同様に Z 方向の変位量が計測される。これらの計測値は全て主制御系 9 に供給され、主制御系 9 に記憶される。また、ウエハ 3 上にはウエハ 3 の Z 方向の各位置 R 1 ~ R 3 においてレチクル 2 上の計測用パターン I P の像が露光される。図 6 では、ほぼ正方形の露光フィールド I A R と合致している表面領域 S 2 内の 4 隅及び中心部に投影された計測用パターン I P の像 12 A R ~ 12 E R を示す。なお、実際にはウエハ 3 の Z 方向の位置は必要な計測分解能を単位として、4 箇所以上の多数の位置に設定されて、それぞれ露光が行われる。次に、ステップ 105 において、露光後のウエハ 3 を現像し、計測用パターン I P の像の状態を測定する。

【0034】図 7 は、ウエハ 3 上に露光された計測用パターン I P の像の状態を示し。この図 7 において、ウエハ 3 上の表面領域 S 2 内及びその近傍に Z 方向の位置 R 1 ~ R 3 において露光された計測用パターン I P の像（以下、「露光像」という）が横ずれして形成されている。例えば露光フィールド I A R 内の 1 つの計測点 A に対応する Z 方向の 3 箇所の位置 R 1 ~ R 3 における計測点 13 A ~ 15 A に露光像 I P 1 ~ I P 3 が形成されている。その他の計測点 B ~ E に対応するウエハ 3 上の計測点 13 B ~ 15 B、13 C ~ 15 C、13 D ~ 15 D、13 E ~ 15 E にもそれぞれ露光像 I P 1 ~ I P 3 が形成されている。なお、図 6 及び図 7 では、露光像は X 方向又は Y 方向に長いスリット状のパターンの像が複数個配列された状態で示されているが、実際には図 8 に示すように、複数の菱形の基本マークから構成されている。

【0035】図 8 は、図 7 の露光像 I P 1 の実際の構成を示し、この図 8 において、露光像 I P 1 は X 方向に所定のピッチで形成された Y 方向に伸びた菱形の 4 個の基本マーク 17 a ~ 17 d からなる X 軸の評価用パターン 16 X と、Y 方向に所定のピッチで形成された X 方向に伸びた菱形の 4 個の基本マーク 17 e ~ 17 h からなる Y 軸の評価用パターン 16 Y とから構成されている。他の計測点における露光像についても同様である。なお、この基本マークの形状及び数は菱形及び 4 個に限定されず、目的に応じて適当な形状及び数を設定すればよい。

【0036】次に、この菱形の基本マーク 17 a ~ 17 h の状態から投影光学系 1 の像面湾曲及び像面傾斜等の結像特性を計測する。以下、基本マーク 17 a ~ 17 h の状態から投影光学系 1 の結像特性を算出する一例について説明する。例えば、ウエハ 3 上の計測点の焦点位置（Z 方向の位置）が投影光学系 1 の結像面の位置（以下、単に「像面位置」という）に近い程高い解像度を得られ、菱形の基本マーク 17 a ~ 17 h の長軸方向の幅が長くなる。そこで、この菱形の基本マークの状態を適当な測長装置を使用して計測する。その測長装置とし

て、例えばスリット状のレーザビームを走査して計測対象マークからの回折光を検出する投影露光装置に付属のアライメントセンサ等が使用できる。まず、X軸の評価用パターン16Xの4個の基本マーク17a~17dのそれぞれのY方向の平均長さ(マーク長)を計測する。同様に、Y軸の評価用パターン16Yの4個の基本マーク17e~17hのX方向の平均長さ(マーク長)を計測する。これらの測定値は、仮に外部の測長装置で測定されたときには、オペレータにより不図示の入力装置を介して主制御系9に供給される。次に、ステップ106において、主制御系9は供給されたデータに基づいて以下のように投影光学系1の結像特性を算出する。なお、結像特性の算出は、別のホストコンピュータにより行ってもよい。

【0037】まず、図7の計測点13Aで計測された露光像のX軸の基本マーク17a~17dのマーク長を $L_{X_{A1}}$ とする。同様に計測点13Aで計測された露光像のY軸の評価用パターン16Yの4個の基本マーク17e~17hのマーク長を $L_{Y_{A1}}$ とする。更に計測点13AにおけるX軸及びY軸のマーク長の平均値である平均マーク長 $L_{A1} = (L_{X_{A1}} + L_{Y_{A1}}) / 2$ を算出する。図7の計測点14A、15Aについても同様にX軸及びY軸のそれぞれ4個の基本マークのマーク長、及び平均マーク長を算出する。ここで、計測点14A、15AにおけるそれぞれのX軸のマーク長を $L_{X_{A2}}$ 、 $L_{X_{A3}}$ とし、Y軸のマーク長をそれぞれ $L_{Y_{A2}}$ 、 $L_{Y_{A3}}$ とする。また、計測点14A、15Aにおける平均マーク長をそれぞれ $L_{A2}$ 、 $L_{A3}$ とする。これら計測点13A~15Aにおけるマーク長は、露光フィールドIAR内の計測点AをZ方向の位置 $Z_{A1} \sim Z_{A3}$ (基準面KSからのずれ量)に設定したときの評価用マーク像のマーク長とみなすことができる。また、実際にはZ方向のもっと多くの位置でマーク長が求められている。

【0038】図9は、計測点Aにおけるウエハ3のZ方向の位置とその位置における平均マーク長との関係を示し、この図9において、横軸は図6の計測点Aでのウエハ3の表面の基準面KSからのZ方向の変位量 $\Delta Z$ を表し、縦軸は平均マーク長 $L$ を表す。この図9において、曲線18は計測点Aでのウエハ3のZ方向の位置を変位量 $Z_{A1}$ 、 $Z_{A2}$ 、 $Z_{A3}$ の位置を含む多数の位置に設定したときの平均マーク長をプロットして、且つ曲線近似で補間したものであり、この曲線18上で最大の平均マーク長 $L_M$ となる変位量 $\Delta Z_A$ を求める。即ち、基準面KSから $\Delta Z_A$ だけ変位したZ方向の位置が計測点Aにおける投影光学系1の像面位置(ベストフォーカス位置)として検出される。同様に、図7の計測点13B、14B、15B~13E、14E、15Eでの平均マーク長を計測してプロットすることによって、それぞれ他の計測点B~Eにおける像面位置を検出する。ここで検出された各計測点B~Eでの像面位置の変位量 $\Delta Z$ をそれぞ

れ $\Delta Z_B \sim \Delta Z_E$ とする。

【0039】図10は、上述の計算により求められた露光フィールドIAR内の計測点A~Eでの像面位置の変位量を示し、この図10において、計測点A~Eにおける像面位置の変位量 $\Delta Z_A \sim \Delta Z_E$ を基準面KS上のZ方向に取った点20A~20Eを適当な補間法を用いて曲面近似することにより、投影光学系1の結像面19が求められる。これにより投影光学系1の像面湾曲及び像面傾斜の状態が判明する。この結果に基づいて例えば、結像面19で焦点位置検出系4a、4bのフォーカス信号が0になるように各フォーカス信号のオフセットを調整し、その状態でオートフォーカス及びオートレベリングを行うことによって、ウエハ3の表面が結像面19に合わせ込まれる。その他に、例えば投影光学系1を構成する所定のレンズの傾斜角を制御する等の方法で、その結像面19をできるだけ平面にするような調整を行ってもよい。

【0040】なお、本例では、投影光学系1の露光フィールドIAR内で5箇所の計測点A~Eを設定し、ウエハ3のZ方向の多くの位置で露光及び計測を行ったが、この計測点の配置はそれに限定されず、投影光学系1の像面位置の測定精度に対応して、その計測点の数及びその配置を決定すればよい。また、本例では投影光学系1の結像特性として、像面湾曲及び像面傾斜を計測する例を示したが、例えば、各計測点A~Eに対応するウエハ3上の計測点に形成された露光像から次のように投影光学系1の非点収差を求めることもできる。

【0041】即ち、計測点A上のX軸の評価用パターン16Xのマーク長 $L_{X_{A1}} \sim L_{X_{A3}}$ から、前述の図9で説明した方法に準じて投影光学系1の像面位置(ベストフォーカス位置)を算出する。他の計測点B~Eについても同様にX軸の基本パターンについての像面位置を求める。ここで求められた各計測点A~E上の像面位置の基準面KSからの変位量を $\Delta L_{X_A} \sim \Delta L_{X_E}$ とする。同様に、計測点A上のY軸の評価用パターン16Yのマーク長 $L_{Y_{A1}} \sim L_{Y_{A3}}$ から投影光学系1の像面位置を算出し、他の計測点B~Eについても同様にY軸の基本パターンの像面位置を求める。求められた像面位置の変位量をそれぞれ $\Delta L_{Y_A} \sim \Delta L_{Y_E}$ とすれば、上述の変位量 $\Delta L_{X_A} \sim \Delta L_{X_E}$ と変位量 $\Delta L_{Y_A} \sim \Delta L_{Y_E}$ との差分により投影光学系1の非点収差を求めることができる。

【0042】以上、本例によればZチルトステージ7上に設置された基準平板8により、多点の焦点位置検出系4a、4bが校正されて、焦点位置検出系4a、4bの各フォーカス信号の基準面が一致する。そして、校正後の焦点位置検出系4a、4bを用いて、計測点A~Eでのウエハ3のZ方向の位置を同時に計測し、それらの複数の計測点にレチクル2上の計測用パターンIPの像を露光する動作が、Z方向の複数の位置で繰り返され、



その露光像に基づいて投影光学系1の結像特性が算出される。従って、ウエハ3上の複数の計測点のZ方向の位置を計測する動作と、それらの計測点上にレチクル2のパターンを露光する動作との間に、XYステージ5を移動する必要がなく、XYステージ5の走り案内面の精度に関係なく、投影光学系1の結像特性を高精度に検出できる。また、ウエハ上の複数の計測点での焦点位置を多点の焦点位置検出系4a、4bにより同時に計測すると共に、それらの計測点に対して計測用パターンの像の露光を同時に行うので、測定時間が大幅に短縮され、それに伴ってスループット（生産性）も大幅に向上する。

【0043】なお、本発明はステッパ型の投影露光装置に限らず、レチクルのパターンの一部を投影光学系を介してウエハ上に投射した状態で、レチクルとウエハとを同期走査してレチクルのパターンをウエハ上の各ショット領域に露光転写するステップ・アンド・スキャン等の走査露光型の投影露光装置にも同様に適用できる。このように、本発明は上述の実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得る。

#### 【0044】

【発明の効果】本発明の投影光学系の結像特性評価方法によれば、感光基板上の複数の計測点の光軸方向の位置を同時に計測すると共に、評価用パターンの像の露光を同時に行う。従って、計測点の光軸方向の位置計測とその露光との間に、感光基板を移動する必要がないので、例えば感光基板（ウエハ等）を位置決めするためのステージの走り案内面の平面度の影響等により感光基板の移動に伴って発生する光軸方向の計測誤差が生じない。そのため、投影光学系の結像特性を高精度に評価できる利点がある。また、複数の計測点の測定を同時に行うと共に、それらの複数の計測点に対する評価用パターンの像の露光を同時に行うので、計測時間が短縮され、スループットが向上する利点もある。

【0045】また、本発明の投影露光装置によれば、その結像特性の評価方法が実施できる。即ち、光軸方向の位置における感光基板の正確な凹凸情報に基づいて、投影光学系の結像特性を計測できる利点がある。また、高さ調整ステージ上に、表面の平面度が既知の基準部材を設ける場合には、この基準部材を使用して焦点位置検出手段を正確にキャリブレーションすることができ、その焦点位置検出手段を使用して、感光基板上の複数の計測点の光軸方向の位置を正確に検出できる利点がある。

【0046】また、高さ調整ステージが、更に感光基板の傾斜角を調整する場合には、感光基板の表面を計測された像面に正確に合わせ込むことができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による実施の形態の一例を示すフローチャートである。

【図2】本発明の実施の形態で使用される投影露光装置の概略構成を示す斜視図である。

【図3】図2の焦点位置検出系の校正方法を説明するための図である。

【図4】図3の校正方法により校正された焦点位置検出系の状態を示す図である。

【図5】本発明の実施の形態において、ウエハ3の高さを変えて複数の計測点での焦点位置を計測する動作を示す説明図である。

【図6】図5の露光フィールドIAR内での計測点の配置を示す平面図である。

【図7】本発明による実施の形態において、ウエハ3上に露光された計測用パターンの像の配置を示す拡大平面図である。

【図8】図7の1つの計測点における計測用パターンの像の拡大平面図である。

【図9】図6の1つの計測点AにおけるZ方向の変位量と投影される計測用パターンの像の平均マーク長との関係を示す図である。

【図10】図9に示す方法に基づいて求められた投影光学系の結像面の状態を示す斜視図である。

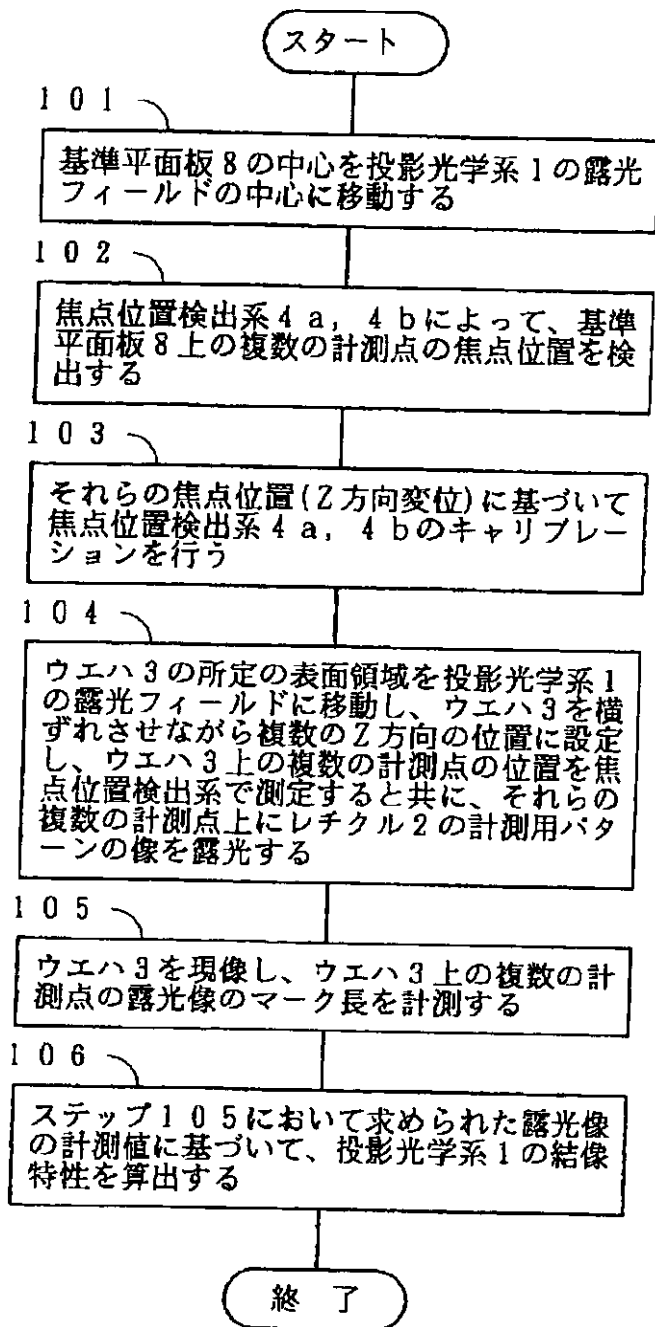
【図11】従来の投影光学系の結像面の位置の計測方法の説明図である。

【図12】図11の計測点を示す平面図である。

#### 【符号の説明】

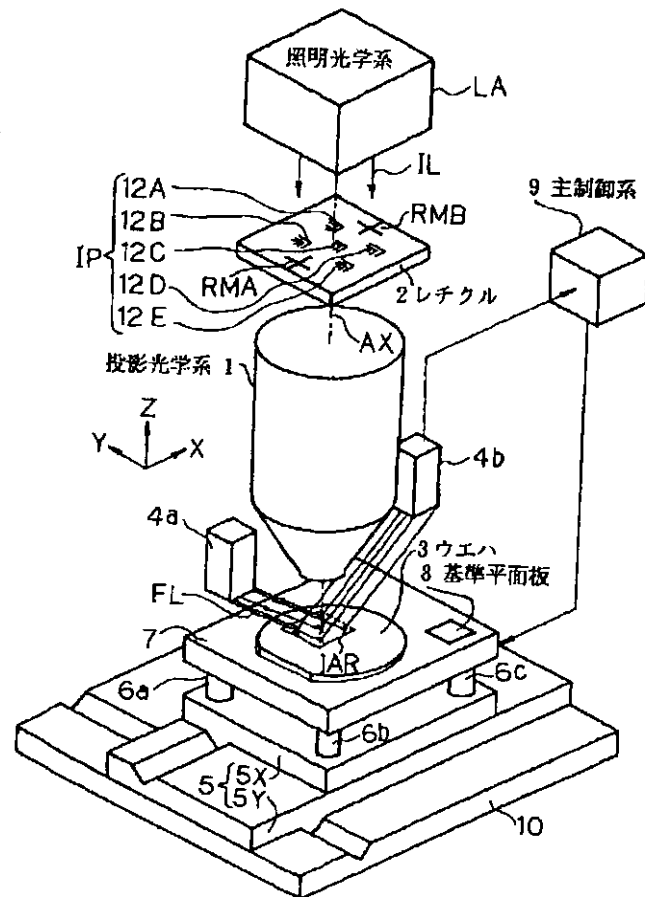
- 1 投影光学系
- AX 光軸
- 2 レチクル
- IP 計測用パターン
- 3 ウエハ
- 4a 送光光学系（焦点位置検出系）
- 4b 受光光学系（焦点位置検出系）
- 5 XYステージ
- 5X Xステージ
- 5Y Yステージ
- 6a～6c フォーカス・レベリング機構
- 7 Zチルトステージ
- 8 基準平面板
- 9 主制御系
- IAR 露光フィールド
- A～E 計測点
- 13A～13E, 14A～14E, 15A～15E 計測点
- IP1～IP3 露光像
- 16X 評価用パターン（X軸）
- 16Y 評価用パターン（Y軸）
- 17a～17h 基本マーク

【図1】

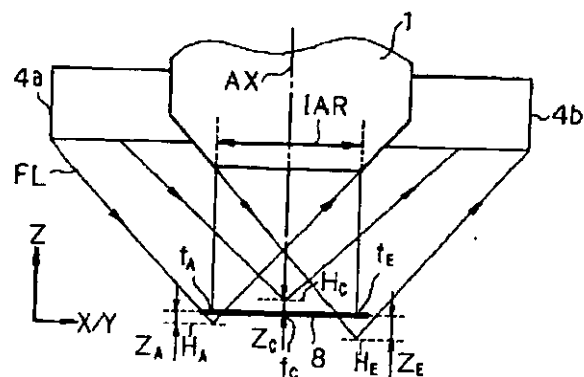


【図6】

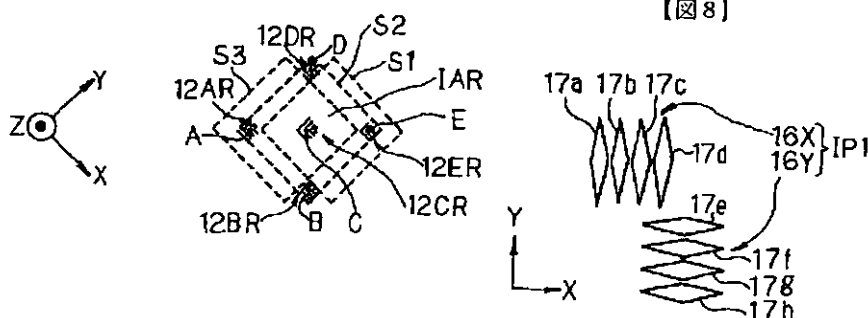
【図2】



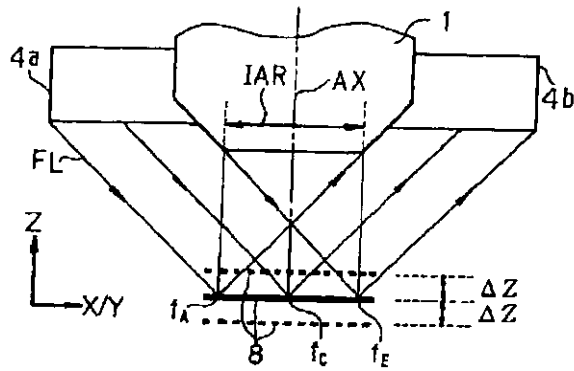
【図3】



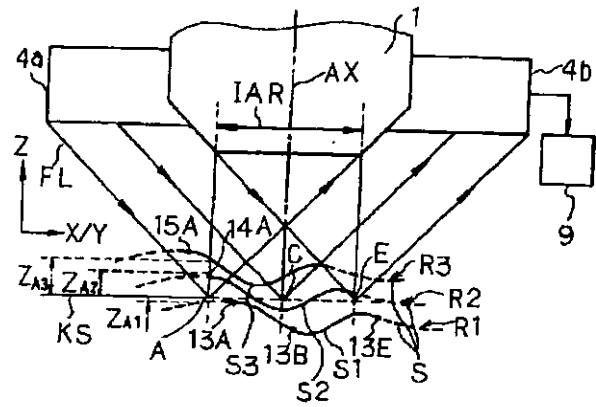
【図8】



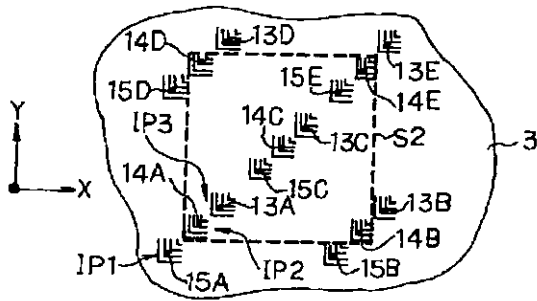
【図4】



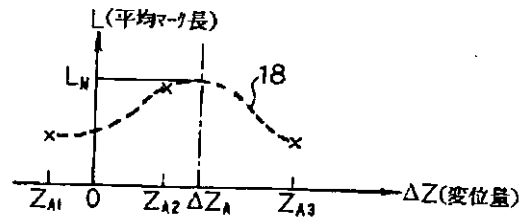
【図5】



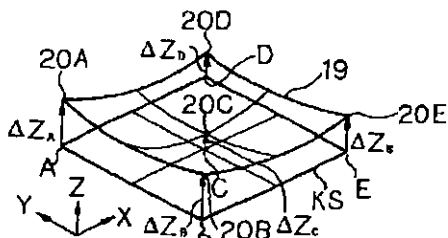
【図7】



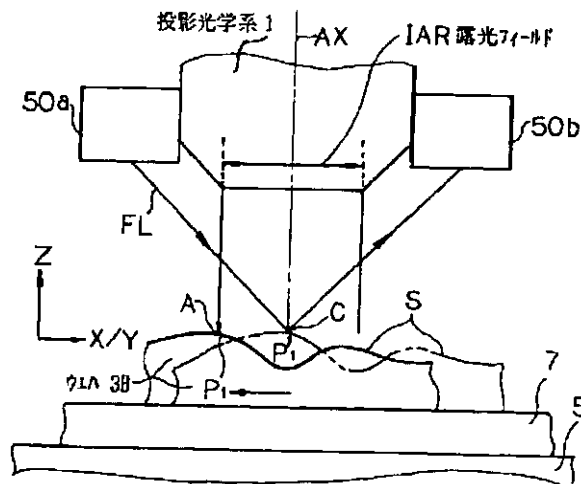
【図9】



【図10】



【図11】



【図12】

